

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Gestión en la Edificación

PROYECTO FINAL DE GRADO
Modalidad Científico-Técnico

“ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO”

Autor: Jessica Bataller Vicedo
Titulación: Grado en Ingeniería de Edificación
Director upv: Luis V. García Ballester
José R. Albiol Ibáñez
Valencia, Septiembre 2011

AGRADECIMIENTOS

Agradecerles la realización de éste proyecto a mis tutores académicos Luís V. García Ballester y Jose R. Albiol Ibañez, por estar presentes en todo momento; a Rafa y Jesús, encargados del Laboratorio de Materiales del Departamento de Construcciones Arquitectónicas, por su ayuda dada en cualquier momento necesitado y a Sika S.A.U por haber facilitado y proporcionado los productos utilizados para la realización de éste proyecto.

También darles las gracias a todos mis compañeros que desde el primer día de carrera hasta el último hemos estado juntos en todo momento, nos hemos ayudado unos a otros en todo lo necesario y que a día de hoy los considero como amigos y espero que perdure la gran amistad que nos une.

Principalmente agradecerles a mis padres, Chelo Vicedo Villagrassa y Salvador Bataller Nadal, tanto el apoyo dado en todo momento como la educación inculcada y sobretodo el haber hecho posible la realización de mis estudios universitarios en la Universidad Politécnica de Valencia, ya que sin el soporte de ellos no hubiera sido posible.

Especialmente agradecerle a mi hermano, Salvador Bataller Vicedo, toda la ayuda proporcionada y todo el apoyo y los consejos dados durante estos años de carrera.

Finalmente agradeceré a mis familiares, en concreto a mi abuela Rosa Nadal Miralles y primordialmente a todos aquellos que nos han dejado durante éste tiempo.

Jessica Bataller Vicedo

A mis padres

A mi hermano

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	3
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION	3
1.3. OBJETIVOS	5
 CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	 8
2.1. INTRODUCCIÓN	10
2.2. POLÍMEROS SINTÉTICOS	10
2.3. MORTEROS POLIMÉRICOS	12
2.3.1. Antecedentes	12
2.3.2. Características generales de los PM	14
2.4. LIGANTES DE LOS PM	16
2.4.1. Resinas Epoxi	16
2.4.2. Metil de Metacrilato	17
2.5. ÁRIDOS EN LOS PM	19
2.5.1. Contenido de humedad en los áridos	19
2.5.2. Relación árido-ligante	20
2.6. REFUERZOS EN LOS PM	21
 CAPÍTULO 3. PLAN EXPERIMENTAL	 23
3.1. INTRODUCCIÓN	25
3.2. METODOLOGÍA	26

CAPÍTULO 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES	43
4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE RESINAS Y ÁRIDOS	45
4.1.1. PROBETAS CON RESINA EPOXI Sikadur-52	45
4.1.2. PROBETAS CON RESINA EPOXI Sikafloor-156	48
4.1.3. PROBETAS CON RESINA EPOXI Sikafloor-169	49
4.1.4. PROBETAS DE METACRILATO DE METILO	50
4.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS ENSAYOS	50
4.2.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL ENSAYO DE TRANSMITÁNCIA LUMÍNICA	50
4.2.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PROBETA MP-04A	52
4.2.3. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PROBETA MP-03A	55
4.2.4. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PROBETA MP-02A	57
4.2.5. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PROBETA MP-05	59
4.2.6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS	61
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	66
5.1. CONCLUSIONES	68
5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	69
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA	71
6.1. BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	75
FICHA TÉCNICA SIKADUR-52	77
FICHA TÉCNICA SIKAFLOOR-169	79
FICHA TÉCNICA SIKAFLOOR-156	86

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

1.1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material compuesto que consiste en un medio ligante dentro del cual hay partículas o fragmentos de agregados, principalmente una combinación de agregados finos y gruesos. En el hormigón convencional de cemento Pórtland el ligante es una mezcla de cemento Pórtland y agua. Debido al color grisáceo y a la gran densidad que presenta, es casi imposible distinguir cuerpos, colores y formas a través de él, siendo totalmente opaco. Para que esto fuera posible y fuera translúcido tendría que ser una lámina de muy poco espesor, la cual tendría muy poca resistencia mecánica.

En México, en el año 2005, fue patentado por los estudiantes de ingeniería civil Joel Sosa Gutiérrez de 32 años y Sergio Omar Galván Cáceres de 31 años, un hormigón con dichas características. Se trata de un hormigón translúcido polimérico con el que se pueden alcanzar mayores espesores sin disminuir las resistencias mecánicas y que permite el paso de la luz a través de él creando ambientes totalmente iluminados con luz natural, a la vez que se disminuyen gastos de colocación y mantenimiento del hormigón.

Tanto en el hormigón polimérico (PC) como en el hormigón polimérico con cemento (PCC), se utilizan los polímeros para completar o reemplazar el cemento como aglutinante. Sin embargo, la diferencia entre uno y otro está principalmente en que en la mezcla para formar el hormigón polimérico de cemento (PCC), hay cemento hidráulico, a diferencia del hormigón polimérico en el cual el único ligante es un polímero orgánico, que reemplaza totalmente al cemento.

Por lo tanto el hormigón translúcido polimérico, objetivo de este trabajo podría considerarse como un hormigón polimérico (PC) formado totalmente por resinas, a diferencia del hormigón translúcido patentado en México que sería un hormigón polimérico con cemento Pórtland, preferiblemente blanco, tal y como figura a continuación.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Para la formulación de éste hormigón se utilizó una matriz aglutinante, preferentemente dos matrices, una epóxica y otra policarbonatada,



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

respectivamente con su catalizador, para que al reaccionar químicamente y endurecerse se forme el concreto.

También se utilizó cemento tipo Pórtland, de color blanco preferentemente.

Como agregados se utilizó fibras de vidrio, sílice sol coloidal y fibras ópticas, pudiéndose utilizar elementos pétreos como gravas y arena.

La matriz epóxica utilizada es el éter diglicidílico del bisfenol A (DGEBA), que durante 8 horas antes de su empleo se deshidrata a vacío a 80 °C.

Como endurecedor se utilizó la dietilentriamina (DETA), deshidratada antes de su empleo, sobre tamices moleculares.

El policarbonato elegido fue distinto del policarbonato de bisfeno A. Se elaboró a partir de un monómero formando un material entrecruzado gracias a que en los extremos tiene dos grupos arílicos y que al mismo tiempo éstos contienen enlaces dobles de carbono, uniéndose así todas las cadenillas.

Con la finalidad de mejorar las resistencias a compresión, flexión, tensión y torsión del concreto, se utilizaron fibras de vidrio y fibras molidas, ambas sin ensimaje, y éstas últimas de longitud mayor a 0.02 mm.

Como fibras ópticas, se utilizó un hilo fino de vidrio o plástico que servía de guía de la luz. Se utilizaron fibras en su estado puro y sin ningún tipo de recubrimiento para facilitar la transmisión de la luz a través del hormigón y ser utilizados como conductores eléctricos, llamadas fibras vírgenes y fibras monomodo.

En lo referente a los aditivos se utilizó pigmentos; agentes antiestáticos para la eliminación de la electricidad estática; agentes de puente para dar unión a la matriz, dar resistencia y proteger contra el envejecimiento; agentes lubricantes para proteger la superficie y agentes fumógenos colantes para dar integridad, rigidez, protección e impregnación, sales metálicas, agentes tixotrópicos, agentes retardadores de llama y agentes de protección UV.

Con la función de desecante, agente de vínculo, adhesivo y dispersante, tenemos sílica sol o hidrosol de sílice ($mSiO_2 \cdot nH_2O$). Se trata de una solución coloidal de alta hidratación molecular de partículas de sílice dispersas en agua, siendo inodoro, insípido y no toxico.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

Para darle una mayor resistencia y dureza al hormigón, una vez fraguado, se utilizará la sílice en un porcentaje comprendido entre 0.5 y un 10 % del peso de la resina.

Con la finalidad de que las esferas se transformen en bastones y que trabajen como fibras en un material compuesto reforzado, el proceso se realizará bajo fluido y en una sola dirección.

Además de permitir el paso de la luz, sin ninguna distorsión, la resistencia a compresión del hormigón translúcido es de hasta 220 MPa con matriz epóxica (bisfenol A) y de hasta 202 MPa con matriz policarbonatada. Cabe destacar la buena dispersión tanto de los agregados, de los aditivos como de la matriz y la buena cristalización en la superficie pero decreciendo a medida que se acerca al extremo inferior.

Para la obtención de éste hormigón hay que combinar dos procesos distintos que consisten por un lado en mezclar el cemento con el agua y por otro lado mezclar las matrices con su respectivo catalizador o endurecedor con una proporción por cada parte de mortero de 1,5 de matriz mínimo, y todo ello mezclado manualmente o mecánicamente.

Con todo lo descrito en lo que se refiere a la formulación del hormigón translúcido, cabe decir que hasta el momento, dichas características ópticas y mecánicas no han sido logradas por ningún otro hormigón, añadiéndole a éstas su uso estructural, permitiendo ver a través de él, objetos, luminarias e imágenes.

Éste hormigón translucido obtenido con un peso volumétrico inferior en un 35% al del hormigón tradicional, sirve como conductor eléctrico además de garantizar la impermeabilidad.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo general del PFG es el estudio y diseño de los hormigones transparentes, partiendo del modelo de hormigón desarrollado por los estudiantes de ingeniería civil Joel Sosa Gutiérrez y Sergio Omar Galván Cáceres.

Puesto que en la patente se menciona la utilización de materias primas cuya aplicación en el sector de la edificación es la habitual, el objetivo específico es:



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

- Estudio de las características y comportamiento de las materias primas de carácter polimérico utilizadas en la fabricación de hormigones transparentes
- Evaluación de la transparencia de cada una de las materias poliméricas de posible uso en estos hormigones.
- Estudio de la fabricación de un mortero polimérico utilizando como árido una arena y como ligante materias poliméricas.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

2.1. INTRODUCCIÓN

La materia está formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas muy grandes llamadas polímeros.

La palabra polímeros proviene de las palabras griegas Poly y Meros, que significa muchas partes. Los polímeros son grandes moléculas o macromoléculas de diversas formas, formadas por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros. Son sustancias de mayor masa molecular entre dos de la misma composición química, como resultado de la polimerización.

Existen polímeros naturales, que provienen directamente del reino vegetal o animal, como celulosa, almidón, caucho natural, etc.; y polímeros sintéticos, que son los que se obtienen por procesos de polimerización controlados por el ser humano, a partir de materias primas de bajo peso molecular, como es el caso del nylon, plásticos, elastómeros, etc.

La gran variedad de propiedades físicas y químicas de estos compuestos permite aplicarlos en construcción, embalaje, industria automotriz, aeronáutica, electrónica, agricultura o medicina

Es notable la revolución que han experimentado los polímeros en lo referente a los conceptos tradicionalmente conocidos de la ciencia de los materiales. Con los polímeros es posible cambiar la composición química de un material sintético para dar como resultado un material con las propiedades deseadas, a diferencia de cómo sucede normalmente, es decir, realizar antes que nada el estudio de su estructura y propiedades, modificando posteriormente su forma física según se requiere.

Desde el siglo XX la obtención y comercialización de los plásticos sintéticos ha sido continuamente incrementada.

Los hormigones y morteros poliméricos conocidos como PC o PM (Polymer Concrete / Polymer Mortar), son de especial interés por la utilización de polímeros como componentes en el hormigón y mortero tradicional.

2.2. POLÍMEROS SINTÉTICOS

Históricamente ya se conocían estructuras poliméricas presentes en sustancias naturales, utilizadas como aglomerantes o ligantes, como por ejemplo, en épocas



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

bíblicas con el uso del betún en vez del cemento para edificar Babilonia; el ámbar en joyería en la antigua Roma; la laca como recubrimiento en la India; pelotas de hule natural para juegos rituales en América Central, y otras.

A parte de los polímeros orgánicos naturales nombrados, hay otros que provienen directamente del reino animal o vegetal, como por ejemplo la celulosa en las maderas y las cadenas polímeras de aminoácidos de ADN.

Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas.

Independientemente de los avances aplicativos de los polímeros, no se tenía mucha información en cuanto a la estructura de estos. Herman Staudinger fue el primero en instituir que los polímeros eran compuestos de gran peso molecular unidos mediante la formación de enlaces covalentes, idea apoyada años más tarde por Wallace Carothers, de DuPont, los cuales llegaron a establecer concepciones similares. Estos conceptos dieron paso al desarrollo de la química de los polímeros tanto sintéticos como naturales.

Sin embargo, hasta finales del siglo XIX no aparecieron los primeros polímeros sintéticos, como por ejemplo el celuloide y hasta los años 40 únicamente se han industrializado y comercializado algunos compuestos fenólicos duroplastos como la Baquelita y algunos termoplastos como el PVC, siendo la disponibilidad en el mercado de materiales plásticos muy limitada, hasta 1945 que ya empiezan a industrializarse yendo en aumento (Bilurbina, 1990).

Estos materiales presentan muy diversas posibilidades constructivas reflejadas en proyectos, como los de los arquitectos S. Bunton y T.W. Kennedy, presentando propuestas de uso de paneles con el empleo de plásticos sintéticos en construcciones rápidas.

Aunque, hasta 1955 no se consolida el empleo satisfactorio de los materiales plásticos en la arquitectura, cuando Schein y otros presentan una vivienda en la que se emplearon estos materiales, caracterizada por su adaptabilidad dimensional según necesidades.

Aún así, tanto en la industria como en la ingeniería, los plásticos no estaban totalmente aceptados, siendo unos prototipos de pequeñas embarcaciones, las únicas aplicaciones a base de plásticos reforzados con fibras conocidas hasta el momento.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

En paralelo, en el año 1824, Joseph Aspdin y James Parker patentaron también el cemento Portland, denominado así por su color gris verdoso oscuro similar a la piedra de Portland. Isaac Johnson, obtiene el prototipo del cemento moderno, con una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura. En el siglo XX surge el auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran cemento de calidad homogénea.

El tipo de cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto es el cemento portland, producto que se obtiene por la pulverización del clinker portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica.

Con el agregado de cal al cemento se obtiene el cemento plástico, que fragua más rápidamente y es más fácilmente trabajable. Este material es usado en particular para el revestimiento externo de edificios.

2.3. MORTEROS POLIMÉRICOS

2.3.1. Antecedentes

Los primeros morteros y hormigones con distintos polímeros, de naturaleza orgánica, comienzan a desarrollarse y a utilizarse industrialmente en el campo de la construcción entre los años 1950 y 1960.

En la antigua URSS, principalmente como materia anti-abrasivo y anticorrosivo en obras de ingeniería, se presencia notoriamente el avance de los morteros y hormigones con polímeros, a raíz de la difusión de un informe redactado en el NHZhB, (Dayydov, 1958), Instituto de la Academia Soviética de Construcción y Arquitectura. En dichas obras de ingeniería, placas protectoras de acero fueron reemplazadas por hormigones formados por resinas furánicas, principalmente por razones técnicas y económicas.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

En 1970, se edita una publicación (Gosstroj), en la que quedan redactados los resultados de distintas investigaciones sobre hormigones polímeros, principalmente utilizando como ligante básico las resinas furánicas.

A raíz de trabajos pioneros de los que se obtuvieron interesantes resultados sobre hormigones y morteros polímeros a mitad de los años 60, en Francia y en los EE.UU, se desencadena la primera Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos de Materiales (RILEM, 1967), sobre la utilización de resinas sintéticas en Construcción.

Desde 1967, en EE.UU. el BNL (Brookhaven National Laboratory) unido con el USBR (United States Bureau of Reclamation) impulsa un grupo de investigadores para hacer un proyecto. Durante éste periodo de trabajo, (Sreinberg, 1968-1970; Dikeou 1971-1972), ensayan y verifican la eficacia de distintos procedimientos técnicos de aplicación de resinas sintéticas polímeras en el perfeccionamiento de los hormigones convencionales, y en los no convencionales.

En 1971, en el American Concrete Institute (ACI) se forma el Comité 548 "Polymers in Concrete", a raíz del progreso en los estudios e investigaciones y tecnologías de preparación y utilización de hormigones y morteros con polímeros sintéticos.

En España (Arredondo, 1974) se emprendieron trabajos sobre el uso de plásticos para mejorar la calidad de los hormigones mediante su impregnación con resinas (investigadores del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, y del Instituto del Plástico y Caucho).

Desde este momento, en los países desarrollados, aumenta el gran interés por el uso de las resinas sintéticas en la mejora y ejecución de morteros y hormigones, con tres metodologías básicas que definen "nuevos hormigones":

- hormigones impregnados con polímero, PIC (Polymer Impregnated Concrete)
- hormigones de cemento y polímero PCC (Polymers And Cement Concrete)
- hormigones aglomerados sólo con polímero, sin cemento. PC (Polymer Concrete)

En 1975, se celebra en Gran Bretaña el Primer Congreso Internacional sobre los Polímeros en el Hormigón ICPC (International Congress of Polymers in Concrete),



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

comprobándose el desarrollo alcanzado por los morteros y hormigones de polímeros hasta el momento (Dikeou, 1975).

Desde mitad de los años 70, empiezan a redactarse y publicarse obras donde se desarrolla el conocimiento sobre los PC y sus aplicaciones más específicas (Mikhailov, 1992) al igual como los PIC y PCC (ACI, 1974/1981).

Además también siguen apareciendo artículos y textos sobre los aspectos de los hormigones poliméricos y de su aplicabilidad en construcción (Ohama, 1980-1987, Fowler, 1981, Aguado, 1984, Dikeou 1987).

Igualmente existen textos que tratan sobre los plásticos, concretamente los duroplastos (Bilurbina, 1990), aplicaciones de los polímeros en construcción (Hollaway, 1993), tipos de duroplastos para PM como resinas fenólicas y aminofenólicas (Gould, 1959; Vale, 1964), furánicas (Delmonte, 1969), epoxi (ACI, 1968), poliésteres no saturados, (Lawrence, 1960).

Cabe mencionar algunos textos que tratan únicamente sobre hormigones y morteros poliméricos como Martineaux, 1987; Feldman, 1989; Gay, 1991; Hollaway, 1993.

2.3.2. Características generales de los PM

Según la metodología de aplicación de resinas sintéticas para la elaboración de morteros u hormigones no convencionales, se obtienen las siguientes clases de éstos:

- El hormigón (mortero) de portland impregnado con un polímero, PIC (Polymer Impregnated Concrete), también denominado HIP (Hormigón impregnado con Polímero).
- El hormigón (mortero) de cemento y polímero, PCC (Polymer Cement Concrete), también conocido como HCP (Hormigón de cemento y polímero).
- El hormigón o mortero sin cemento, sólo con polímero y áridos, PC (Polymer Concrete), también denominado HP (Hormigón de polímero).



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

Los morteros poliméricos, cuestión de la presente investigación, son materiales compuestos o composites, obtenidos con la mezcla de un árido mineral y un polímero (resina) que actúa como único ligante, sin la utilización de cemento. Por lo que las propiedades del composite, están prácticamente establecidas por el tipo de monómero que se ha utilizado.

Dentro de las fases componentes de los PM está la fase ligante o conglomerante, mayoritariamente formada por una resina sintética de tipo duroplasto. Al producirse la polimerización o endurecimiento de la resina a temperatura normal, forma la fase matriz del compuesto PM. Dicha fase, incluye a la segunda fase, que con mayor volumen, sirve de esqueleto estructural resistente formado por materiales áridos granulados. Unido a éstas dos fases existe otra de refuerzo, formada con fibras, mallas o barras, metálicas u orgánicas.

En comparación con los morteros y hormigones de cemento, los PC y PM tienen muchas ventajas (Chawalwala, 1996):

- Alta resistencia a los ataques químicos
- Buenas propiedades mecánicas
- Excelente adherencia a otros hormigones
- Rápido curado
- Alta resistencia a la abrasión y al impacto.

A pesar de estas ventajas, algunos autores (Moshchanskii et al., 1971) también han indicado algunos inconvenientes en sus preparaciones de PC con resinas puras sin aditivos y adiciones correctoras, entre los que cabe destacar:

- Alta deformabilidad en los PC, con altos valores de retracción, fluencia lenta y cambios volumétricos con las variaciones de la temperatura.
- Fragilidad alta (en algunos casos).
- Bajas resistencias frente a la intemperie y los ambientes oxidantes en las formulaciones de resinas fenólicas y furánicas (PF y FA).
- Poca resistencia frente a los álcalis, en los morteros con resinas fenólicas y de poliésteres no saturados, (PF y UP).



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

- Pequeño intervalo de posibilidad de colorido cuando se utilizan resinas fenólicas o furánicas (PF y FA) que originan PC de colores oscuros, casi negros.
- Costes de los PC relativamente altos (de 4 a 16 veces el de un hormigón convencional).

Sin embargo, el desarrollo del uso de PC y PM ha sido evidente. En la actualidad, en el mundo de la construcción, es incuestionable que los PC y PM son materiales con excelentes características.

2.4. LIGANTES EN LOS PM

2.4.1. Resinas epoxi (EP)

Las resinas epoxi (EP) son un polímero termoestable que endurece al mezclarse con un agente catalizador y se usan para preparar los PM. Con el empleo de éstas resinas, existe gran cantidad de formulaciones con extraordinarias características tanto en estado puro como con diferentes cargas o en PM.

Principalmente se usan con colores oscuros, ya que, a pesar de ser inicialmente de color transparente, terminan coloreadas de tonos claros. Son de gran uso, ya que presentan elevadas resistencias mecánicas, buena tenacidad, gran dureza e importantes resistencias al impacto y a la abrasión.

Tienen un elevado coste en comparación con otras resinas, pero también presentan excelentes propiedades. En comparación con las resinas de poliéster, requieren durante su utilización una preparación de mayor precisión y es casi imprescindible la utilización de balanzas de precisión para la dosificación del catalizador, cambiando el tipo del mismo cuando se desee variar la velocidad de reacción, a diferencia de las resinas de poliéster en las que la cantidad del catalizador carece de importancia, modificando con el mismo la velocidad de reacción.

Presentan mayor seguridad al ser poco inflamables y más tenaces debido a la gran capacidad de alargamiento.

Las principales propiedades de los PM realizados a base de resinas epoxi son las descritas a continuación:

- Excelentes propiedades del compuesto en general.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

- Baja retracción durante el curado.
- Buen comportamiento a temperaturas elevadas, hasta 180 °C.
- Buena resistencia y estabilidad ante los agentes químicos y disolventes.
- Ausencia de volátiles durante el curado.
- Muy buenas propiedades eléctricas.
- Buena adhesión a casi todas las fibras.
- Largo tiempo de curado.
- Coste relativamente alto.

2.4.2. Metil de Metacrilato

El metacrilato de metilo (MMA) es un compuesto químico cuya fórmula es $C_5H_8O_2$. Cuando el monómero de metacrilato de metilo se polimeriza, da lugar al polimetacrilato de metilo (PMMA), que es un plástico amorfo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido incoloro, tiene un olor afrutado, es de aspecto similar al agua, es tóxico e inflamable.

El polimetacrilato de metilo, es el acrílico más importante. Debido a las características de resistencia al impacto y transparencia que presenta, es un buen sustituto del vidrio.

Dentro de las principales marcas comerciales que podemos encontrar en el mercado se encuentra el Plexiglas, Vitroflex y Lucite, sobre todo para planchas y gránulos.

Es utilizado en cristalerías, lentes de contacto, fibras ópticas, reflectores, prótesis de odontología, placas de propaganda, mobiliario, etc.

Sin embargo, la "resina de metacrilato de metilo" está constituida principalmente por una mezcla de éste monómero con otro multifuncional que copolimeriza con el primero dando como resultado una estructura reticulada.

Generalmente no se suele utilizar la resina constituida tal cual de esa manera, aunque en los hormigones con polímeros se utiliza como resina de impregnación de los PIC y como matriz de los PC.

Como las resinas de poliéster, estas resinas desprenden mucho calor durante el proceso de curado, con significantes cambios de temperatura a causa de tensiones



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

internas, lo que posteriormente puede dar lugar a deformaciones en las piezas fabricadas e incluso fisuras en el peor de los casos.

Existen muchos tipos de composiciones debido a la gran facilidad que presentan los monómeros acrílicos para polimerizar entre sí.

En el mercado están presentes el PMMA de colada, generalmente de alto peso molecular y las masas de moldeo de PMMA, de menor peso molecular, que se inyectan y extruyen. También hay copolímeros formados con más de un 80% de metacrilato de metilo (MMA). Los copolímeros formados por un 50% de acrilonitrilo (AMMA) presentan mayor resistencia química y mecánica, principalmente mayor tenacidad, comercializándose como semiprefabricados. Hay copolímeros que se obtienen a partir de MMA, como el butadeno y estireno (MBS), presentando gran resistencia al impacto y mucha transparencia. Se utilizan para fabricar diferentes elementos como claraboyas, planchas segmentadas dobles y triples para cubiertas de invernadero, techos acristalados, acristalado de duchas, instalaciones sanitarias, mobiliario, etc.

Los PM realizados con las resinas de Metacrilato de Metilo (MMA) presentan las siguientes propiedades:

- Los materiales de moldeo modificados con esteres de ácido acrílico tienen buena resistencia a la intemperie.
- Son transparentes con brillo superficial elevado.
- Pueden tener el color deseado quedando transparentes u opacos.
- Son duros y rígidos, pero frágiles. Buena resistencia a la tracción, compresión y flexión.
- Poca deformación (a excepción de la compresión).
- Buena resistencia al rayado.
- Se pueden pulir las superficies cortadas.
- Puede alcanzar una temperatura máxima de 70 °C; en tipos especiales (caloríficos) puede llegar hasta 100°C.
- Arde con chisporroteo y llama brillante, casi no deja residuo y no gotea.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

- Resistente a hidrocarburos alifáticos, disolventes no polares, ácidos y álcalis en solución acuosa; grasas; alcohol en concentraciones inferiores al 30 %.
- Buena resistencia a la luz, envejecimiento e intemperie.

2.5. ÁRIDOS EN LOS PM

Tanto técnica como económicamente, en las dosificaciones de los PM se pretende tener la mayor cantidad de árido y de compacidad posible, es decir, conseguir el mayor ahorro de polímero, sin la pérdida de su acción ligante o conglomerante. En los PM, al igual que en los morteros portland convencionales, con una buena dosificación de los áridos y una adecuada granulometría se obtiene una baja porosidad y por lo tanto permeabilidad, además de conseguir PM de menor retracción y mayor tenacidad y ductilidad.

Los áridos silíceos y calizos como de cualquier otro tipo son los utilizados para la preparación y uso de los PM, utilizándose los de machaqueo cuando son de tamaño superior a 5-10 mm y arenas de sílice de río como árido fino.

Técnicamente, en elementos constructivos de pequeño espesor, el tamaño máximo del árido en los PM es inferior a 2-3 mm, a diferencia de en los PC que es inferior a 15-20 mm.

Cabe especial mención al contenido de humedad en los áridos de los PM, como se hace a continuación.

2.5.1. Contenido de humedad en los áridos

Se ha comprobado experimentalmente (Ohama, 1973), que cuando se utilizan áridos silíceos, si el contenido de humedad de éstos es mayor del 0,1% influye negativamente sobre las resistencias mecánicas de los PM de poliésteres. En investigaciones posteriores (Hsu 1984) se estudió este comportamiento pero una mezcla de áridos silíceos y calizos. Sin embargo, en el caso de árido exclusivamente calizos no existen evidencias experimentales a este respecto.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

Como conclusiones, se observa que en los áridos con humedad, la resistencia de PC se reduce notablemente, ya que el enlace entre el polímero y el árido se aminora ante la presencia de agua.

Se puede observar también una disminución del 40 al 55% en la resistencia a compresión, presentando peor resistencia el PC realizado con áridos silíceos, a diferencia de los calizos, ambos con el mismo contenido de humedad. Posiblemente esto es debido a la mayor porosidad existente en los áridos silíceos y consecuentemente a un mayor contenido de humedad en estos. Por lo tanto, áridos con mayor porosidad tolerarían mayores contenidos de humedad sin disminuir su resistencia.

Finalmente se puede afirmar que "cuanto menor sea el grado de absorción de agua de los áridos, mayor es la reducción de resistencia para el mismo contenido de humedad en el árido".

2.5.2. Relación árido-ligante

La forma en la que influye el valor de la relación árido/ligante en las características de los PM y PC, ya se conoce desde hace años tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo.

También se conoce (Patuorev, 1971), la influencia de la granulometría en los áridos, siendo favorable con áridos muy finos tipo filler, tal vez, debido a que éstas partículas, finamente dispersas, actúan como núcleos rodeados de una estructura hipermolecular de cadenas de polímeros con cierta orientación y orden.

Por lo tanto, resinas y filler forman un conjunto monolítico que actúa como un único material conglomerante.

Sin embargo, la resistencia mecánica y otras características disminuyen considerablemente, cuando la cantidad de filler es mayor al 20% en peso de la de resina.

Igualmente, en los morteros PM también se comprobó que al aumentar su peso específico aumentaban sus resistencias. Por lo tanto, con una relación resina-árido óptima, se puede llegar a obtener los máximos valores de densidad, resistencia mecánica y compacidad.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

Cabe destacar dentro de las características mecánicas de los PM, que tienen rotura frágil, pudiéndose evitar o disminuir mediante refuerzos de fibras, denominándose a éste tipo de morteros y hormigones, FPC y FPM.

2.6. REFUERZOS EN LOS PM

A excepción de algunos casos especiales, por razones tecnológicas operativas y por razones de coste, los PM utilizados en construcción solo son de espesores inferiores a 10 mm. Evidentemente si hay que armar el material, debido al pequeño espesor de éstos, las armaduras quedan limitadas a utilizarse de pequeño tamaño o longitud, con lo que se utilizan como refuerzos fibras circulares o rectangulares, sueltas o unidas en mallas y telas y de pequeñas longitudes, dando lugar a los Morteros polímeros armados con fibras (FPM). Estas fibras o mallas pueden ser orgánicas o inorgánicas (cerámicas o metálicas), dando como resultado con su utilización morteros en los se pretende disminuir o evitar la fisuración.

Tanto de fibras como de sus características y aplicaciones como refuerzos, existe una amplia cantidad de bibliografía disponible, incluida en obras generales sobre materiales compuestos (Arzamasoibliografiav, 1989), ponencias, artículos y obras especializadas (Hibrard, 1965; Happey, 1978; Pritchard, 1980; Antequera et al., 1991), etc.

No es habitual diseñar hormigones polímeros armados, sobre todo por cuestiones económicas, aunque su empleo sea algo frecuente.

A pesar de que el campo de los FPM es interesante, no se pretende su estudio en este momento, dejando abierto el tema a futuras líneas de investigación.

CAPÍTULO 3

PLAN EXPERIMENTAL



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

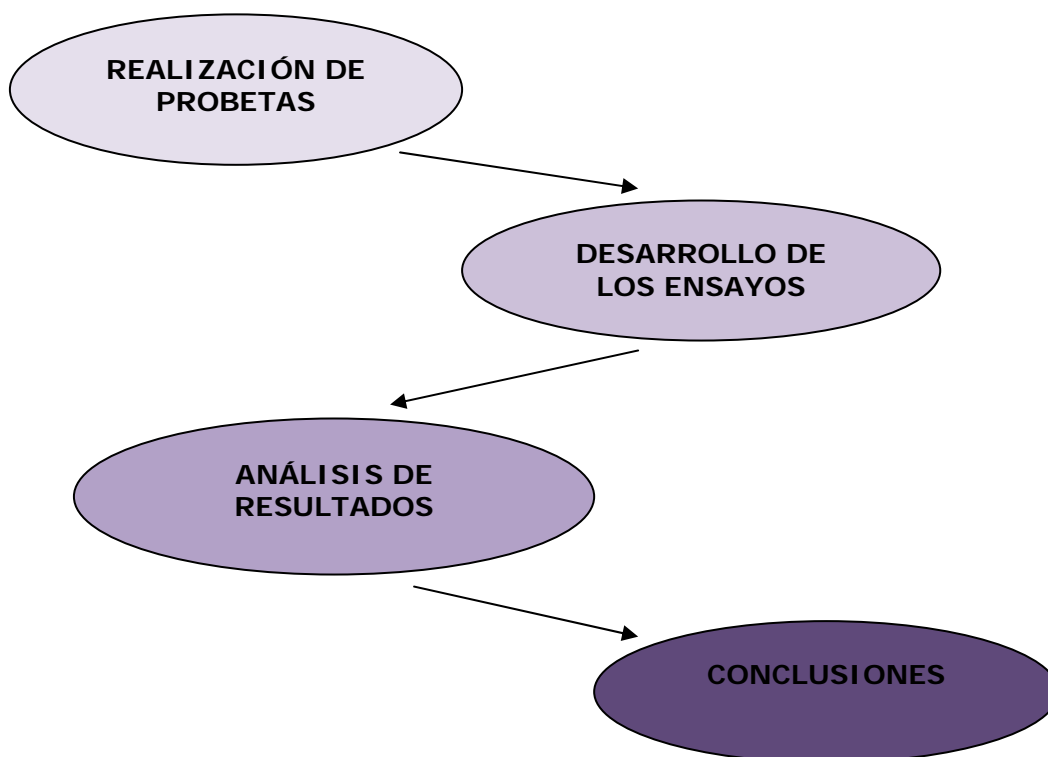
3.1. INTRODUCCIÓN

Para cumplir los objetivos establecidos, se ha desarrollado en el Laboratorio de Materiales del Departamento de Construcciones Arquitectónicas, una serie de probetas de este nuevo material, para posteriormente realizar los ensayos que nos permitan conocer mejor las características mecánicas y estéticas.

Se realizarán 12 probetas y cada una tendrá una composición distinta del resto, variando sobretodo en el porcentaje de arena de sílice que contenga y el tipo de resina utilizado.

Los ensayos a realizar serán cuatro; ensayo de resistencia a flexión, ensayo de resistencia a compresión, ensayo de apertura de fisura y ensayo de transmitancia lumínica.

Una vez realizados los ensayos citados, éstos nos proporcionarán una serie de datos que se analizarán y en función de este análisis se llegará a una serie de conclusiones.





ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

3.2. METODOLOGÍA

Para la realización o simulación de éste nuevo material “Hormigón translúcido polimérico” se han empleado los materiales y la metodología de trabajo descritos a continuación.

Como materiales principales se han utilizado cuatro tipos distintos de plásticos, es decir, resina epoxi Sikadur-52, Sikafloor-156, Sikafloor-169 y Metacrilato de Metilo, éste último proporcionado ya como una pieza prismática de dimensiones de 16 x 4 x 4 cm, por su dificultad de encontrarlo en estado líquido.

Como árido se ha utilizado principalmente árido de sílice de distinto tamaño.



Imagen 1: Resinas utilizadas



Imagen 2: Pieza de Metacrilato de Metilo



Imagen 3: Árido silíceo

Para realizar la mezcla de los dos componentes de las resinas, según las proporciones indicadas en su ficha técnica, se utiliza un recipiente de plástico y una varilla de hierro para mezclarlo, al igual que para mezclar la resina con el árido, en lugar de la amasadora de mortero emplazada en el Laboratorio de Materiales del



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

Departamento de Construcciones Arquitectónicas, por la dificultad de limpieza de éste material.

Debido al alto coste del material utilizado para la realización de probetas y a una mejor trabajabilidad, se decidió realizar probetas de ensayo de dimensiones 16 x 4 x 4 cm, para ello, emplearemos unos moldes de tres probetas cada uno.

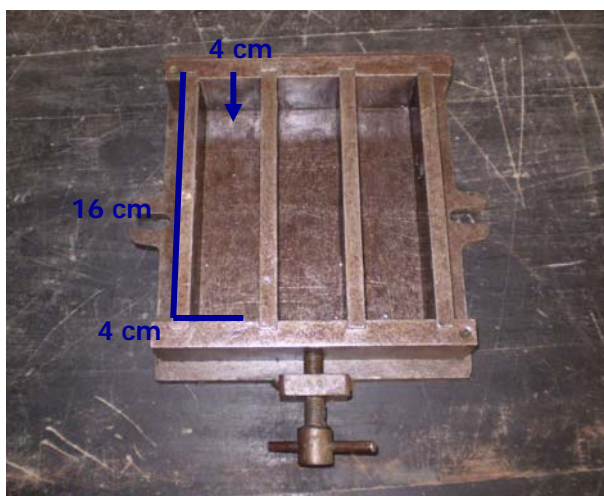


Imagen 4: Dimensiones del molde 16 x 4 x 4 cm

En el primer molde se realizan probetas formadas por resina epoxi Sikadur-52 en estado totalmente puro. La mezcla de los dos componentes de la resina se realiza en un bote de plástico, según las proporciones indicadas en la ficha técnica y se remueve con una varilla de hierro hasta que la mezcla sea homogénea. A continuación se vierte la mezcla en el molde y transcurrido un día y a temperatura ambiente se desmoldan las probetas como se explicará más adelante, obteniendo así dos probetas con cierta transmitancia de luz.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO



Imagen 5: Probetas de resina epoxi Sikadur-52

Realizadas estas probetas, a tamaño muy reducido, se elabora en vasos de plástico distintas mezclas con diferentes proporciones de áridos y resinas con el fin de observar con cual se obtiene una mezcla homogénea. Se mezcla arena de sílice con resina, arena de cuarzo con resina y polvo calizo con resina, con distintas proporciones, tal y como figura a continuación.

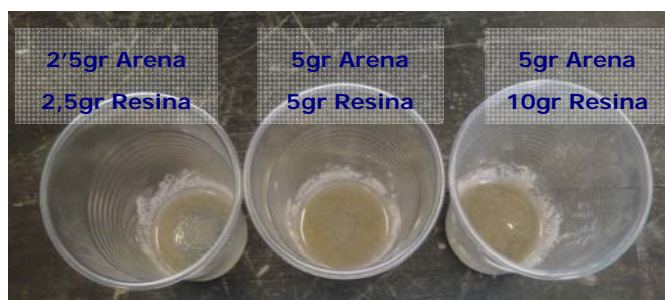


Imagen 6: Mezclas de arena de sílice con resina Sikadur-52

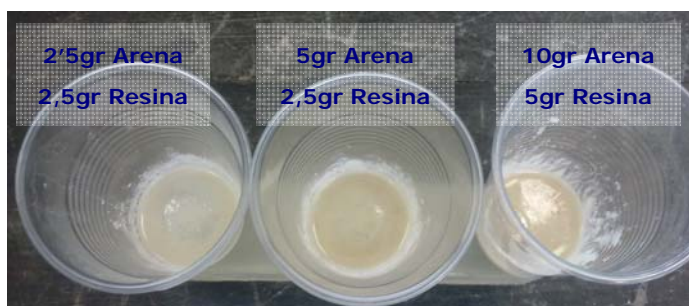


Imagen 7: Mezclas de arena de cuarzo con resina Sikadur-52



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

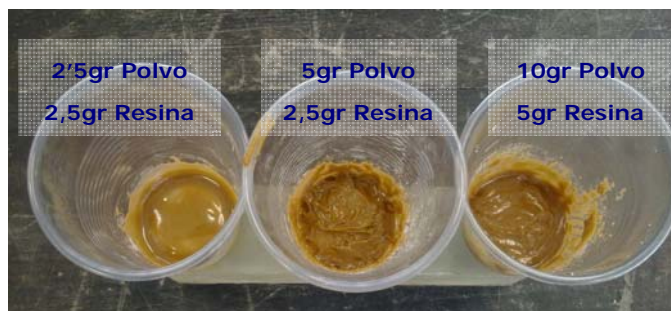


Imagen 8: Mezclas de polvo calizo con resina Sikadur-52

Antes de proceder a la utilización de resinas diferentes se propone realizar una mezcla formada con resina epoxi Sikadur-52, arena y viscosante.



Imagen 9: Materiales utilizados

A continuación se procede a realizar otra mezcla idéntica a la mencionada pero añadiéndole cemento.



Imagen 10: Materiales utilizados



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

Realizadas estas muestras a tamaño reducido y en vista de los resultados dados, se sigue con la realización de los moldes.

El segundo molde empleado se rellena con árido silíceo de diferente tamaño cada probeta y seguidamente se le añade la misma resina epoxi utilizada anteriormente hasta que el molde quede completamente lleno, para así evitar la segregación. Transcurrido un día y a temperatura ambiente, se procede a realizar el desmolde de las probetas, obteniendo así las tres probetas de árido y resina epoxi Sikadur-52.



Imagen 11: Probetas con árido silíceo
de distinto tamaño



Imagen 12: Probetas con árido y resina

El tercer molde se realiza con resina epoxi Sikafloor-156, mezclada con las distintas proporciones de árido silíceo indicadas a continuación. Dicha mezcla se realiza en un bote de plástico, añadiéndole el árido a la resina y removiendo con una varilla de hierro. Seguidamente se vierte en el molde y al día siguiente y estando las probetas a temperatura ambiente, se realiza el desmolde de éstas, obteniendo nuevamente tres probetas.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO



Imagen 13: Probetas con resina Sikafloor-156 y distintas proporciones de árido silíceo

El cuarto molde se realiza con resina epoxi Sikafloor-169 y arena de sílice. La mezcla se realiza igual que en los casos anteriormente mencionados, mezclando la resina con distintas proporciones de árido en un bote de plástico y removiéndolo manualmente con una varilla de hierro hasta conseguir una mezcla homogénea. A continuación se vierten las tres mezclas en el molde y al día siguiente se desmolan, tal y como figura a continuación, obteniendo así una probeta de resina pura y otra dos probetas de resina mezclada con distintas proporciones de árido silíceo.

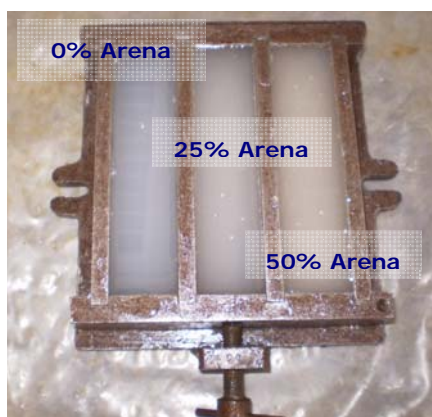


Imagen 14: Probetas de resina Sikafloor-169 y distintas proporciones de árido silíceo



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO



Imagen 15: Proceso del desmolde de las probetas

Realizadas todas las probetas anteriormente citadas se tomó la decisión de realizar una probeta de Metacrilato. Debido a la dificultad en encontrar dicho material en estado líquido y que nos lo proporcionaran en cantidad reducida, no se pudo mezclar el Metacrilato de Metilo con distintas cantidades de árido de sílice para ver si el árido se quedaba en suspensión o también se producía la segregación como sucedía con las otras resinas utilizadas.

Se encargó una pieza del mismo formato que las probetas realizadas, es decir, una pieza con forma prismática de dimensiones 16 x 4 x 4 cm.

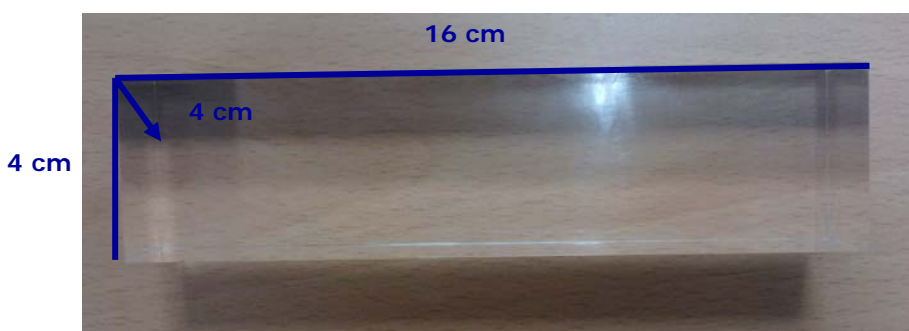


Imagen 16: Pieza de Metacrilato de Metilo

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Obtenidas todas las probetas previstas, se procede a realizar la nomenclatura de éstas quedando identificadas de la siguiente manera:

NOMENCLATURA PROBETAS	MP-01			MP-02			MP-03			MP-04		MP-05
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	
COMPOSICIÓN												
Árido silíceo 0/2	95%	-	-	1%	2,5%	5%	-	25%	50%	-	-	-
Árido silíceo 0/4	-	95%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Árido silíceo 0/6	-	-	95%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resina epoxi Sikadur-52	5%	5%	5%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	-
Resina epoxi Sikafloor-156	-	-	-	99%	97,5%	95%	-	-	-	-	-	-
Resina epoxi Sikafloor-169	-	-	-	-	-	-	100%	75%	50%	-	-	-
Metacrilato de metilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100%

Tabla 1: Identificación de las probetas

Una vez identificadas todas las probetas, se procederá a realizar los siguientes ensayos:

- Transmitancia lumínica
- Apertura de fisura
- Resistencia a flexión
- Resistencia a compresión

Para realizar los ensayos solamente se utilizan las probetas de resina en estado puro, sin ninguna cantidad de árido, a excepción de la probeta de Sikafloor-156 que se utiliza la que solo contiene un 1% de arena de sílice, ya que es una cantidad totalmente inapreciable y queda depositada en la parte inferior, considerándola como una pieza de resina pura.

Con las cuatro probetas se realizará el ensayo de transmitancia lumínica y posteriormente se prepararán para realizar el ensayo de flexión en el que se medirá



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

la apertura de fisura. A continuación con una de las dos partes de cada pieza que se obtendrá tras realizar el ensayo de flexión, se realizará el ensayo de compresión.

Ensayo de transmitancia lumínica

Para realizar el ensayo de transmitancia lumínica se emplea un luxómetro, que es un instrumento de medición que permite medir la iluminación real de un ambiente. La unidad de medida es lux (lx), unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación; equivalente a un lumen /m². Funciona según el principio de una célula C.C.D. o fotovoltaica; un circuito integrado recibe una cierta cantidad de luz (fotones que constituyen la "señal", una energía de brillo) y la transforma en una señal eléctrica (analógica). Esta señal es visible por la fijación de una cifra.



Imagen 17: Luxómetro

Con cada probeta se realizan tres tomas de medida, es decir, sobre una misma cara se mide a ambos lados y en medio, disponiendo las probetas en distintas superficies y el luxómetro en distinta posición, tal y como figura a continuación.



Sobre fondo blanco



Sobres fondo negro



Luxómetro hacia arriba



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO



Luxómetro al lado

Superficie y lados blancos

Lados blancos y luxómetro
hacia arriba

Imagen 18: Proceso de medición con el luxómetro

Ensayo de fisuración

Antes de realizar los ensayos de resistencia a flexión y a compresión, se preparan las probetas para poder medir la apertura de fisura con un palpador. Para ello, se hace una pequeña hendidura con una sierra manual, de unos tres centímetros de profundidad en la mitad de la probeta y en la parte opuesta a la que se le aplicará la carga. A continuación se pone a un lado de la probeta y a unos 0,5 cm del centro de ésta, un angular metálico sujeto con resina epoxi. En la misma cara de la probeta pero en la otra mitad de ésta, pasados los 5 cm del centro (zona de actuación de rotura) y por debajo de la fibra neutra (eje x), se pone un tornillo con una abrazadera para sujetar posteriormente el palpador, tal y como figura a continuación. Éste proceso se realiza en las cuatro probetas de resina pura.

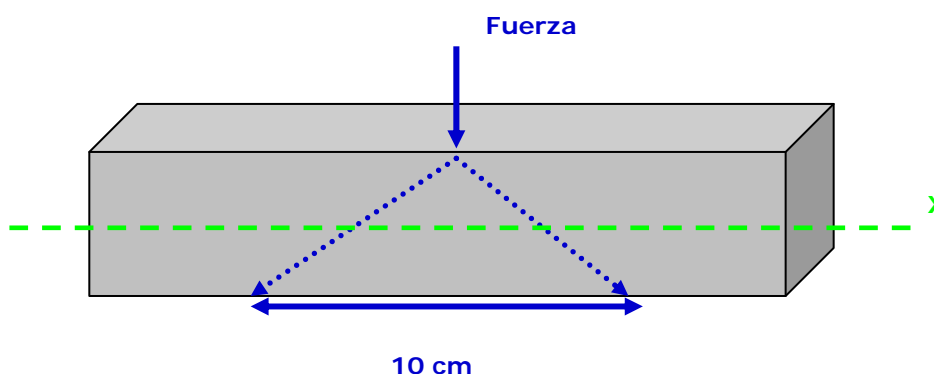


Gráfico 1. Zona afectada por la rotura al aplicarle una fuerza



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

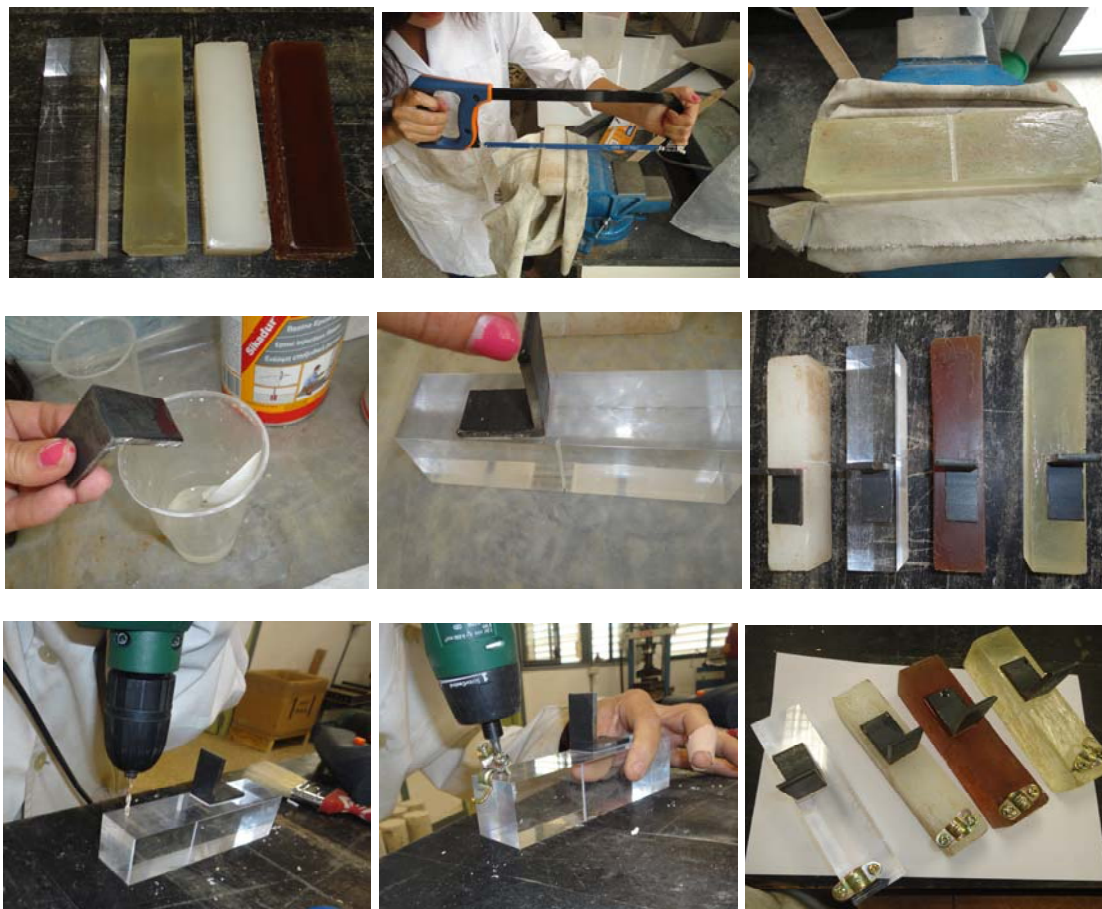


Imagen 19: Proceso de preparación de las probetas

Ensayo de resistencia a Flexión

Tanto para realizar el ensayo de resistencia a flexión como el de resistencia a compresión, se utiliza la maquinaria de la marca IBERTEST, emplazada en el Laboratorio de Materiales del Departamento de Construcciones Arquitectónicas.

El termino flexión se refiere al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. La palabra "alargado" se utiliza cuando una dimensión es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, preponderantemente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

La resistencia a flexión de la probeta se obtiene mediante la aplicación uniforme de una carga a través de un rodillo que transmite la presión perpendicular a la probeta apoyada sobre dos rodillos (*ensayo a flexión en tres puntos*).



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

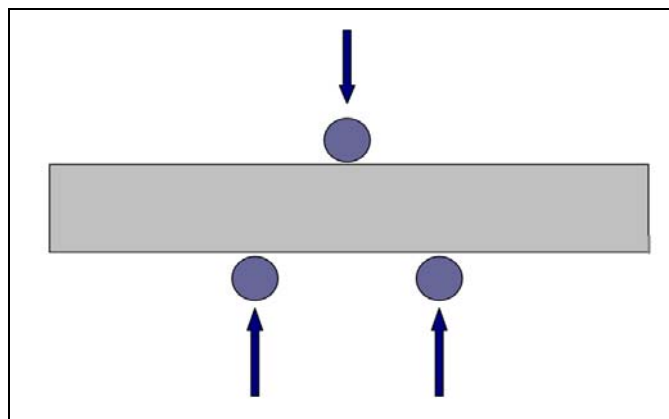


Gráfico 2. Ensayo a Flexión en tres puntos

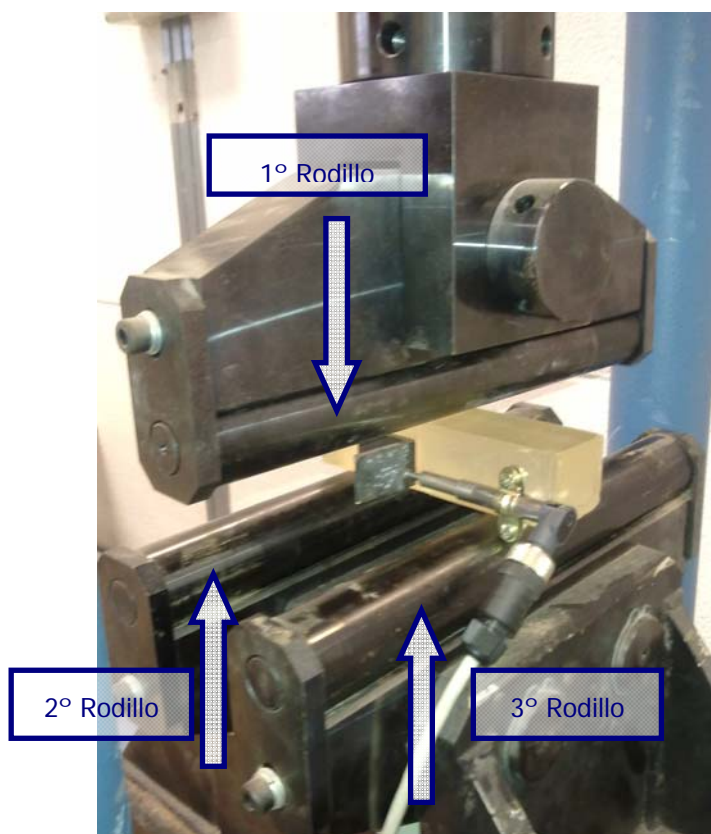


Imagen 20: Maquinaria de ensayos a Flexión en tres puntos

Para empezar con los ensayos de resistencia a flexión se coloca la primera de las probetas (MP-04 A) y se ajusta el palpador. Ésta se rompe en dos partes mediante un comportamiento totalmente frágil y sin perder nada de sección de la pieza.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO



Imagen 21: Proceso de ajuste del palpador y realización del ensayo a Flexión en tres puntos

Tanto los datos reflejados para ajustar el palpador como todos los datos obtenidos del primer ensayo quedan reflejados en el ordenador de la maquina tomando nota de la Fuerza (KN), Resistencia (Mpa) y la Deformación (mm) para poder realizar posteriormente el estudio de éstos resultados.

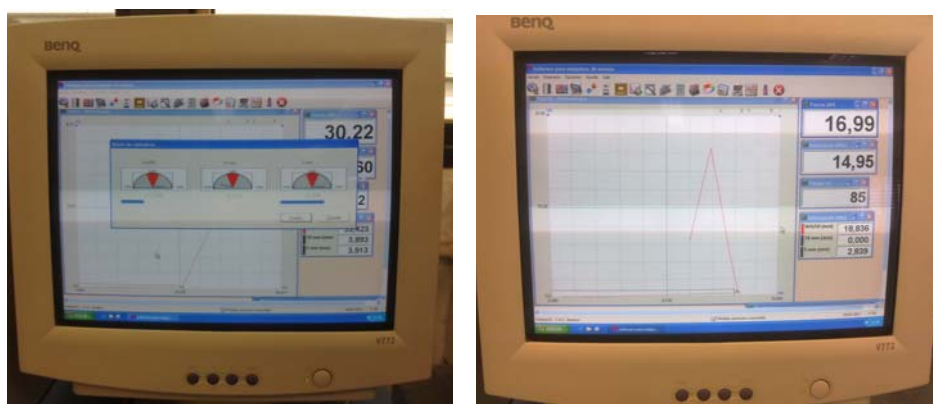


Imagen 22: Ajuste de captadores y datos obtenidos del ensayo a Flexión en tres puntos

Obtenidos todos los datos del ensayo a flexión de la primera probeta se realiza el mismo proceso en el resto de probetas, en la MP-03 A, MP-02 A y MP-05.

Ensayo de resistencia a compresión

Finalizados los ensayos de resistencia a flexión, se procede a realizar los ensayos de resistencia a compresión, que como se ha mencionado anteriormente, se



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

realizan en una de las dos partes obtenidas al fracturar la probeta en el ensayo a flexión.

El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable, caracterizada porque tiende a causar una reducción de volumen o un acortamiento en una determinada dirección.

Cuando se somete un material a un conjunto de fuerzas se produce tanto flexión, como cizallamiento o torsión. Todos estos esfuerzos conllevan la aparición de tensiones tanto de tracción como de compresión.

Los ensayos practicados para medir el esfuerzo de compresión son contrarios a los aplicados al de tracción, con respecto al sentido de la fuerza aplicada.

La resistencia a compresión de la probeta se obtiene mediante la aplicación uniforme de dos cargas enfrentadas a través de dos placas.

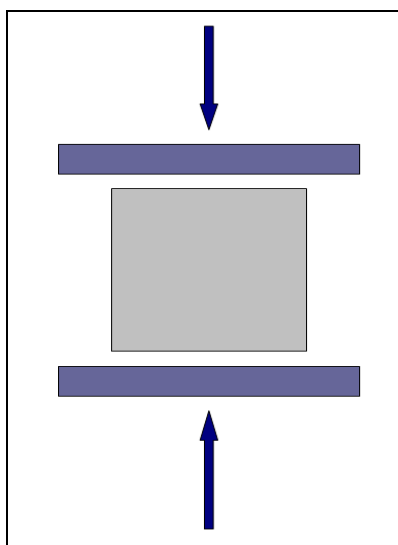


Gráfico 3. Ensayo a Compresión



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

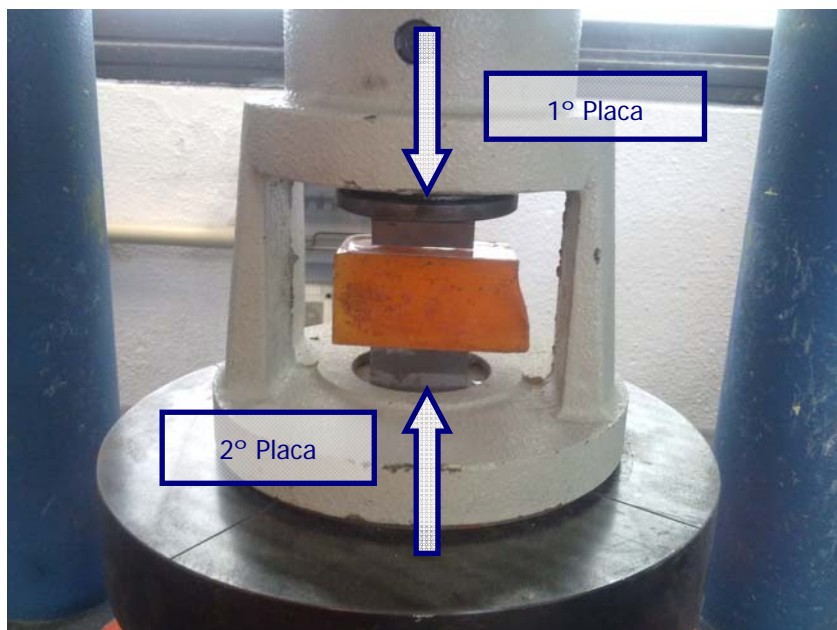


Imagen 23: Maquinaria de ensayos a Compresión

Para empezar con los ensayos de resistencia a compresión se coloca una parte de la primera de las probetas (MP-04 A). Ésta se divide en tres trozos mediante un comportamiento notablemente frágil y sin obtener pérdida de material.



Imagen 24: Proceso de rotura de la probeta en el ensayo a compresión

Todos los datos del primer ensayo quedan reflejados en el ordenador de la maquina tomando nota de la Fuerza (KN) y Resistencia (Mpa) para realizar posteriormente el estudio y análisis de éstos resultados.

Obtenidos todos los datos del ensayo a compresión realizado en la matriz polimérica MP-04 A, se realiza el mismo proceso en el resto de matrices



**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU
APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

poliméricas, en la pieza MP-03 A, MP-02 A y MP-05, anotando todos los resultados reflejados en el ordenador, para realizar a continuación el estudio y análisis de éstos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

EXPERIMENTALES



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE RESINAS Y ARIDOS

4.1.1. PROBETAS CON RESINA EPOXI Sikadur-52

Al realizar las dos probetas con resina epoxi y ver que eran translúcidas, se procedió a elaborar en cantidades minuciosas la mezcla de resina con distintos áridos y se observó que tanto con arena de sílice, como con arena de cuarzo o con polvo calizo, había segregación quedando la resina en suspensión, tal y como figura a continuación.

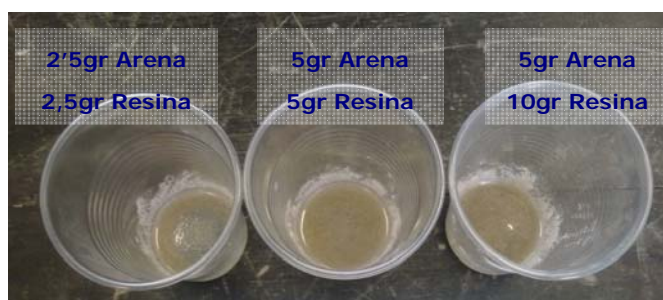


Imagen 1: Mezclas de arena de sílice con resina Sikadur-52

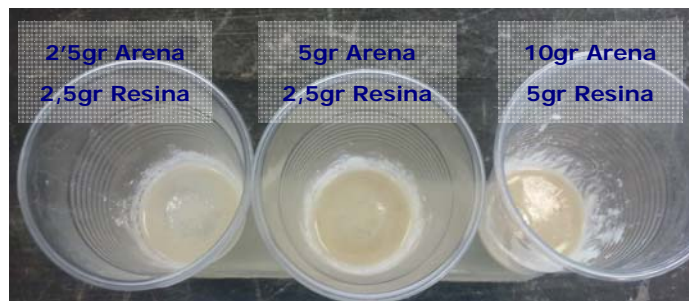


Imagen 2: Mezclas de arena de cuarzo con resina Sikadur-52

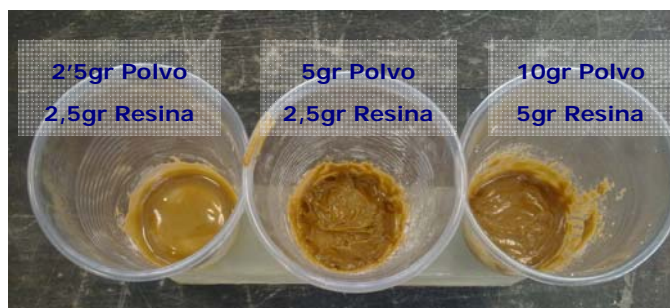


Imagen 3: Mezclas de polvo calizo con resina Sikadur-52



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

Antes de proceder a la utilización de resinas diferentes se propone realizar una mezcla formada con resina epoxi Sikadur-52, arena y viscosante para ver cuál es el resultado, obteniendo nuevamente la segregación del árido.



Imagen 4: Mezcla de árido silíceo con resina Sikadur-52 y viscosante

En esta mezcla, a pesar de no obtener la homogeneidad buscada, cabe destacar el color blanquecino que le da el viscosante a la resina epoxi.

También se procede a realizar otra mezcla idéntica a la mencionada pero añadiéndole cemento.



Imagen 5: Mezcla obtenida al añadirle cemento

Al realizar dicha mezcla, se observa que no se produce la segregación obteniendo así la homogeneidad deseada, pero se pierde completamente la transmitancia lumínica. Con lo cual, al ser la transmisión de luz el objetivo buscado, no se sigue realizando más probetas con esta mezcla.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

A la vista de éstos resultados se tomó la decisión de rellenar los moldes con distintos tamaños de árido silíceo y seguidamente añadirle resina hasta que ésta rellenara todos los huecos. Con esta decisión se consiguió una mezcla homogénea pero se perdió la mayor parte de transmitancia lumínica, objetivo buscado en un principio.



Imagen 6: Probetas obtenidas

Se toma la decisión de analizar las probetas realizadas de resina Sikadur-52 en estado totalmente puro, en las que se había conseguido cierta transmitancia lumínica, como se ve a continuación.



Imagen 7: Probeta de resina epoxi Sikadur-52



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

4.1.2. PROBETAS CON RESINA EPOXI Sikafloor-156

Del proceso de mezclar la resina con pequeñas cantidades de árido silíceo, se observó al igual como ocurría con la resina anteriormente utilizada, que los áridos se quedaban en la parte inferior del molde formando una fina capa inapreciable en este caso por la minuciosa cantidad de árido utilizado.

Las probetas obtenidas presentaban cierta transmitancia lumínica, estando formada dicha matriz polimérica por resina en estado puro principalmente. Cabe destacar el color amarillento rojizo de ésta resina.



Imagen 8: Probetas obtenidas



Imagen 9: Transmitancia lumínica de la probeta de resina Sikafloor-156



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

4.1.3. PROBETAS CON RESINA EPOXI Sikafloor-169

Con la utilización de ésta resina también ocurrió lo mismo que sucedió con la utilización de las dos resinas anteriormente mencionadas, formándose una fina capa de árido en la parte inferior del molde y quedando la resina en suspensión prácticamente en estado puro.



Imagen 10: Probetas obtenidas

En este caso no se obtuvo la transmisión de luz deseada, siendo éstas totalmente opacas, tal y como figura a continuación.



Imagen 11: Probeta de resina Sikafloor-169



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO

4.1.4. PROBETA DE METACRILATO DE METILO

Realizadas las probetas mencionadas se encarga una pieza totalmente formada por Metacrilato de Metilo de 4x4x16 cm, completamente translúcida como se ve a continuación.

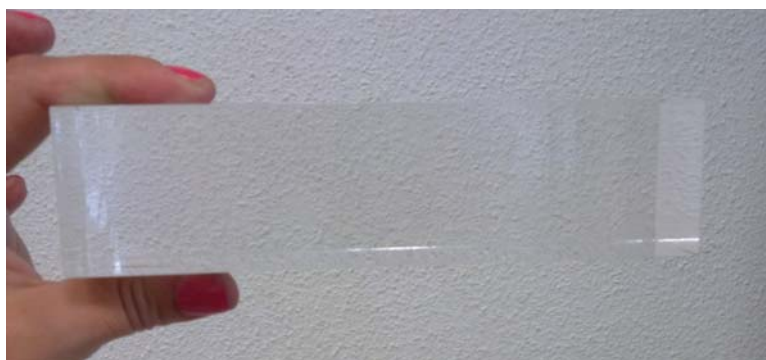


Imagen 12: Pieza de Metacrilato de Metilo

4.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS ENSAYOS

4.2.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL ENSAYO DE TRANSMITANCIA LUMÍNICA

Para poder valorar cual era la metodología experimental más adecuada para obtener la pérdida de luz de la matriz polimérica, se hicieron distintas determinaciones previamente. Así pues los datos reflejados en la siguiente tabla, obtenidos con el luxómetro, se extraen de realizar las mediciones en la parte superior de la probeta con objeto de medir la luz incidente y de las mediciones realizadas por debajo de la probeta para determinar la cantidad de luz que absorbe dicha matriz polimérica.

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

MATERIAL	A	B	C
METACRILATO (MP-05)	lux		
Luxómetro encarado hacia arriba y situado al lado de la probeta.	570	530	562
Luxómetro encarado hacia arriba y la probeta encima de éste con los lados blancos.	513	516	519
Perdida de luz	57	14	43
SIKADUR-52 (MP-04 A)			
Luxómetro encarado hacia arriba y situado al lado de la probeta.	520	495	490
Luxómetro encarado hacia arriba y la probeta encima de éste con los lados blancos.	241	274	245
Perdida de luz	279	221	245
SIKAFLOOR-169 (MP-03 A)			
Luxómetro encarado hacia arriba y situado al lado de la probeta.	548	532	525
Luxómetro encarado hacia arriba y la probeta encima de éste con los lados blancos.	0	0	0
Perdida de luz	548	532	525
SIKAFLOOR-156 (MP-02 A)			
Luxómetro encarado hacia arriba y situado al lado de la probeta.	557	528	510
Luxómetro encarado hacia arriba y la probeta encima de éste con los lados blancos.	0	0	0
Perdida de luz	557	528	510

Tabla 1: Valores obtenidos con el luxómetro

En base a los resultados, se extrae que tanto la probeta MP-03 A como la MP-02 A, con la técnica utilizada, son totalmente opacas, sin tener nada de transmitancia lumínica a diferencia de las probetas MP-04 A y MP-05, que presentan cierta transparencia. Dicha transparencia es más notable en la pieza MP-05 donde la pérdida de luz es mucho menor que en la probeta MP-04 A, la cual presenta una pérdida de luz aproximadamente del 50%.

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO****4.2.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PROBETA MP-04 A**

Tras realizar todos los ensayos, con los resultados obtenidos se refleja a continuación las características mecánicas de la matriz polimérica MP-04 A, constituida por resina pura Sikadur-52.

MP-04 A			
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
RESISTENCIA A FLEXIÓN	Fuerza (KN)	11,27	
	Resistencia (Mpa)	12,08	
	Deformación (mm)	WA/50 mm	2,55
		5 mm	0,43
RESISTENCIA A COMPRESIÓN	Fuerza (KN)	83	
	Resistencia (Mpa)	51,85	

Tabla 2: Características mecánicas de la probeta MP-04 A

Del ensayo a flexión realizado se obtiene la siguiente gráfica donde se relaciona la deformación (mm) con la fuerza (KN) que se ejerce sobre ella.

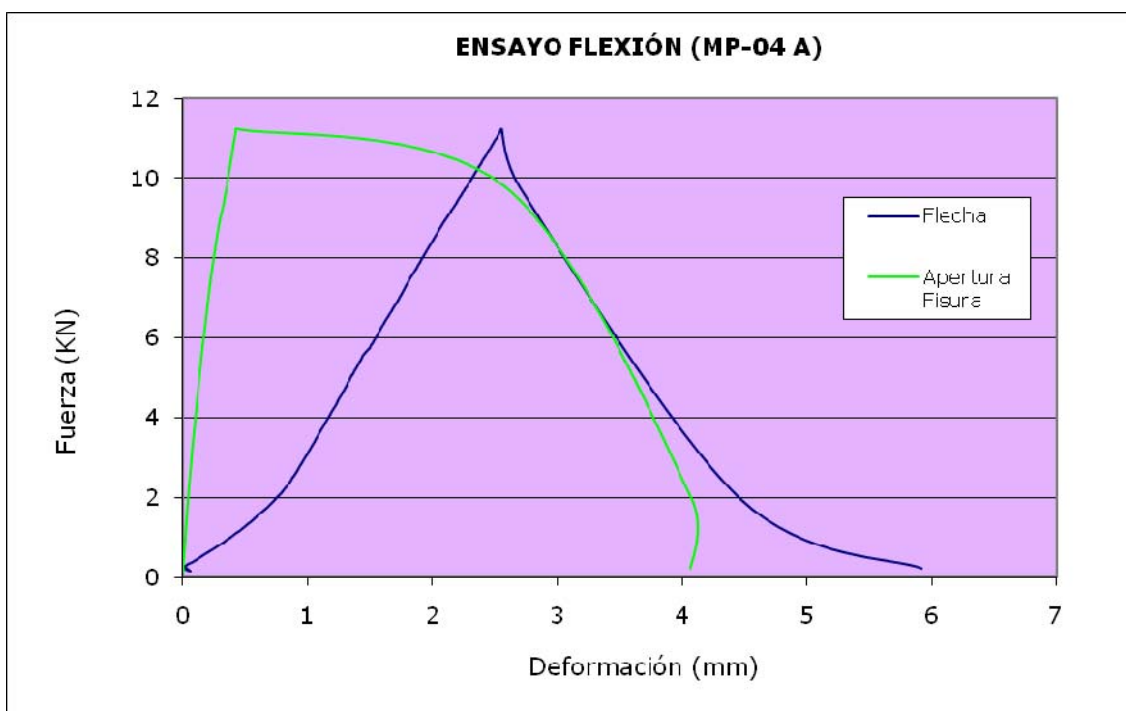
**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Gráfico 1: Gráfica Fuerza-Deformación resultante del ensayo de resistencia a flexión

De la gráfica se extrae que el punto de rotura de la matriz polimérica aparece cuando se aplica una fuerza de 11,27 KN. Hasta éste momento el proceso de fisuración sigue un comportamiento lineal, presentando así una apertura de fisura mínima, siendo ésta de 0,43 mm. En éste instante y sin ninguna fuerza ejercida, la pieza se sigue fisurando paulatinamente hasta alcanzar una apertura de 4 mm aproximadamente.

La deformación por flecha obtenida al aplicarle dicha fuerza es mucho mayor, llegando a los 2,55 mm, y con una menor pendiente, mostrando un comportamiento lineal ascendente hasta el punto de rotura y descendente a partir de éste, alcanzando así los 6 mm de deformación aproximadamente, siendo un valor mayor al obtenido en la apertura de fisura.

Al concluir el ensayo de resistencia a flexión, se verifica el comportamiento totalmente frágil de la probeta de resina pura al quedar perfectamente dividida la pieza en dos partes, sin perder nada de sección, al igual como sucedió con las otras probetas, tal y como figura a continuación.



ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO



Imagen 13: Rotura de las probetas tras realizar el ensayo de resistencia a flexión

Del ensayo de resistencia a compresión, al aplicarle una fuerza de 83 KN, se obtiene una resistencia de 51,85 Mpa. De nuevo se puede comprobar el comportamiento totalmente frágil de estos polímeros, quedando las probetas divididas en tres partes y sin perder nada de sección.



Imagen 14: Rotura de la probeta tras realizar el ensayo de resistencia a compresión

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO****4.2.3. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PROBETA MP-03 A**

Realizados todos los ensayos, con los resultados obtenidos se muestra a continuación las características mecánicas de la probeta MP-03 A, constituida por resina pura Sikafloor-169.

MP-03 A			
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
RESISTENCIA A FLEXIÓN	Fuerza (KN)	16,99	
	Resistencia (Mpa)	14,95	
	Deformación (mm)	WA/50 mm	2,21
		5 mm	0,11
RESISTENCIA A COMPRESIÓN	Fuerza (KN)	124,8	
	Resistencia (Mpa)	78,03	

Tabla 3: Características mecánicas de la probeta MP-03 A

Del ensayo a flexión realizado se refleja la siguiente gráfica donde se relaciona la deformación (mm) con la fuerza (KN) que se ejerce sobre ella.

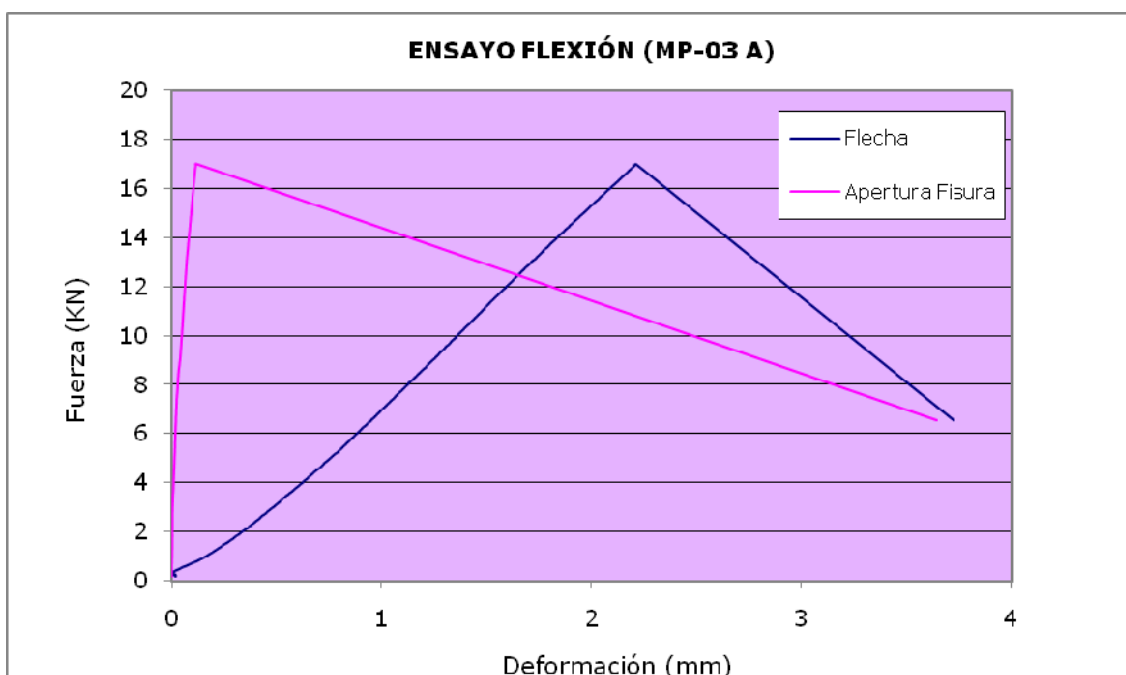
**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Gráfico 2: Gráfica Fuerza-Deformación resultante del ensayo de resistencia a flexión

Del gráfico 2 se extrae que el punto de rotura de la matriz polimérica aparece cuando se aplica una fuerza de 16,99 KN. Hasta éste momento el proceso de fisuración sigue un comportamiento totalmente lineal y con una pendiente muy pronunciada, presentando así una apertura de fisura insignificante, siendo ésta de 0,11 mm. En éste instante y sin ninguna fuerza ejercida, la pieza se sigue fisurando progresivamente hasta alcanzar una apertura de 3,65 mm.

La deformación por flecha obtenida al aplicarle dicha fuerza es mayor, llegando a los 2,21 mm, y con una ligera pendiente. Se muestra un comportamiento lineal ascendente hasta el punto de rotura y en recesión a partir de éste, alcanzando así los 3,7 mm de deformación coincidiendo con la apertura de fisuración.

Al concluir el ensayo de resistencia a flexión, se justifica el comportamiento totalmente frágil de la probeta de resina pura al quedar claramente seccionada, sin pérdida de material, tal y como se ha comentado anteriormente.

Del ensayo de resistencia a compresión, al aplicarle una fuerza de 124,8 KN, se obtiene una resistencia de 78,03 Mpa. De nuevo se puede comprobar la fragilidad de estos polímeros, quedando las probetas divididas en tres trozos y sin perder nada de sección.

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Imagen 15: Rotura de la probeta tras realizar el ensayo de resistencia a compresión

4.2.4. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PROBETA MP-02 A

Concluidos todos los ensayos, con los resultados dados se refleja a continuación las características mecánicas de la probeta Epoxi 03, constituida por resina pura Sikafloor-156.

MP-02 A			
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
RESISTENCIA A FLEXIÓN	Fuerza (KN)	13,27	
	Resistencia (Mpa)	11,68	
	Deformación (mm)	WA/50 mm	3,06
		5 mm	0,98
RESISTENCIA A COMPRESIÓN	Fuerza (KN)	81,4	
	Resistencia (Mpa)	50,98	

Tabla 4: Características mecánicas de la probeta MP-02 A

Del ensayo a flexión realizado se refleja la siguiente gráfica donde se relaciona la deformación (mm) con la fuerza (KN) que se ejerce sobre ella.

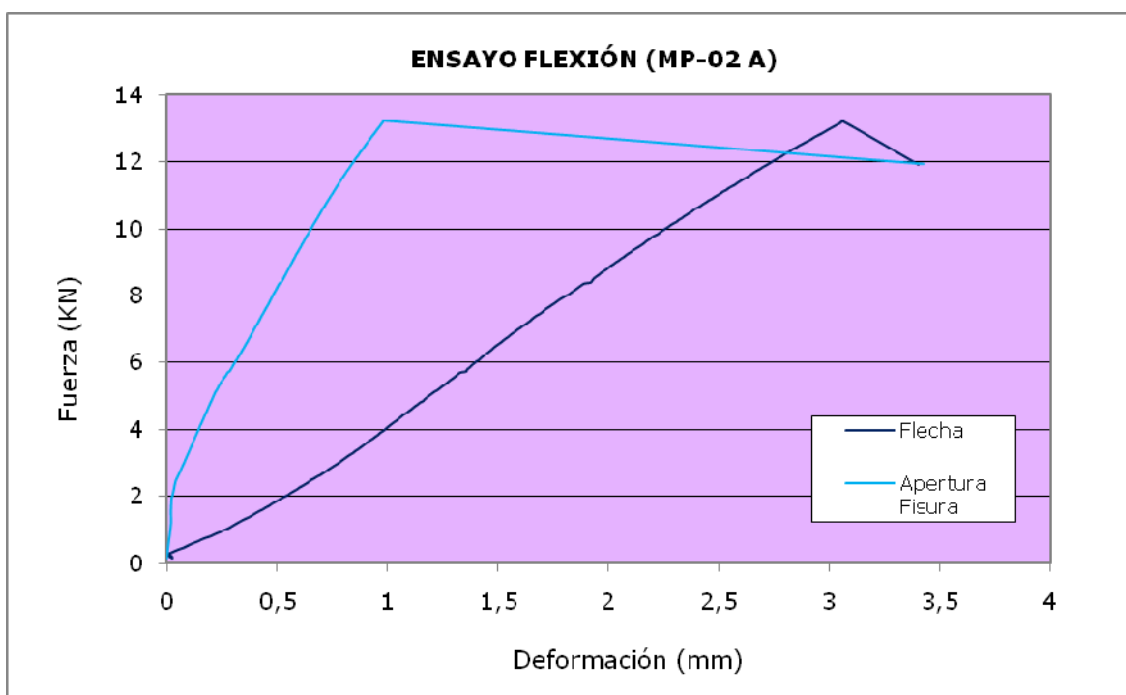
**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Gráfico 3: Gráfica Fuerza-Deformación resultante del ensayo de resistencia a flexión

De la presente gráfica se interpreta que el punto de rotura del material polimérico aparece cuando se aplica una fuerza de 13,27 KN. Hasta llegar a éste punto la fisuración sigue un comportamiento totalmente lineal y con una pendiente ligeramente pronunciada, presentando así una fisuración de 0,98 mm. En éste momento y sin ejercerle ninguna fuerza, la probeta se sigue fisurando hasta una apertura de 3,40 mm, mostrando una pendiente con ligera inclinación.

La deformación por flecha obtenida al aplicarle dicha fuerza es muy elevada, llegando a los 3,06 mm, y con suave pendiente. Presenta un comportamiento lineal ascendente hasta el punto de rotura, a partir del cual experimenta una ligera deformación de únicamente 0,34 mm, coincidiendo así con el valor obtenido en la apertura de fisuración.

Realizado el ensayo de resistencia a flexión, se comprueba el comportamiento totalmente frágil del material al quedar la pieza perfectamente dividida y sin pérdida de material, tal y como se ha mencionado anteriormente.

Del ensayo de resistencia a compresión, al aplicarle una fuerza de 81,4 KN, se obtiene una resistencia de 50,89 Mpa. De nuevo se puede verificar la fragilidad que

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

presentan estos polímeros, quedando las probetas divididas en tres trozos y sin perder nada de sección.



Imagen 16: Rotura de la probeta tras realizar el ensayo de resistencia a compresión

4.2.5. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PROBETA MP-05

Con los ensayos realizados y con los datos obtenidos se refleja a continuación las características mecánicas de la pieza MP-05, constituida totalmente por Metacrilato de Metilo.

MP-05			
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
RESISTENCIA A FLEXIÓN	Fuerza (KN)	14,28	
	Resistencia (Mpa)	24,89	
	Deformación (mm)	WA/50 mm	1,11
		5 mm	0,18
RESISTENCIA A COMPRESIÓN	Fuerza (KN)	192,7	
	Resistencia (Mpa)	120,43	

Tabla 5: Características mecánicas de la probeta MP-05

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Del ensayo a flexión realizado se interpreta la siguiente gráfica donde se relaciona la deformación (mm) con la fuerza (KN) que se ejerce sobre ella.

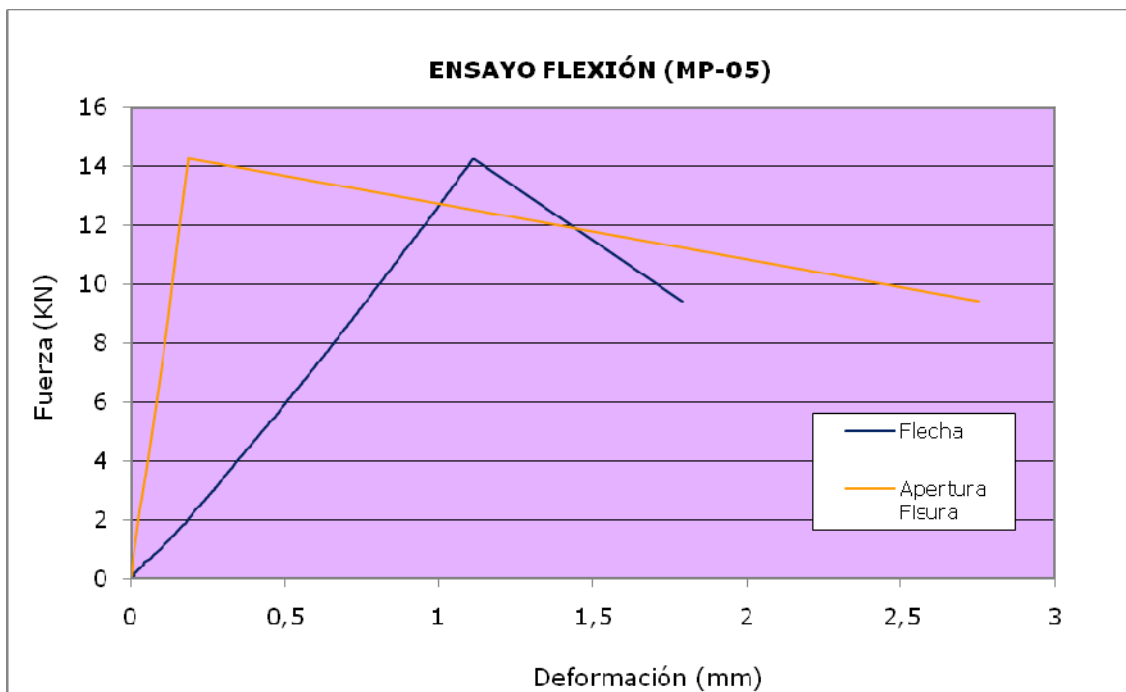


Gráfico 4: Gráfica Fuerza-Deformación resultante del ensayo de resistencia a flexión

De la presente gráfica se extrae que el punto de rotura del material polimérico aparece cuando se aplica una fuerza de 14,28 KN. Hasta éste punto el proceso de fisuración presenta un comportamiento lineal, con una pendiente muy marcada, mostrando así una ligera apertura de fisuración de 0,18 mm. En éste momento y sin ejercer ninguna fuerza, la pieza se sigue fisurando progresivamente hasta alcanzar una apertura de 2,75 mm, observándose una pendiente con ligera inclinación.

La deformación por flecha obtenida al aplicarle dicha fuerza es mayor, llegando a 1,11 mm, y con una pronunciada pendiente. Muestra un comportamiento lineal ascendente hasta el punto de rotura, momento en el cual presenta una notable pendiente descendente, llegando a 1,79 mm de deformación, valor inferior al obtenido en la apertura de fisuración.

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Concluido el ensayo de resistencia a flexión, se verifica el comportamiento frágil del material al quedar la probeta perfectamente dividida, sin perder nada de sección, tal y como se ha mencionado anteriormente.

Del ensayo de resistencia a compresión, al aplicarle una fuerza de 192,7 KN, se obtiene una resistencia de 120,43 Mpa. De nuevo se puede comprobar el comportamiento totalmente frágil de estos materiales poliméricos, dejando las probetas divididas en tres trozos y sin pérdida de material.



Imagen 5: Rotura de la probeta tras realizar el ensayo de resistencia a compresión

4.2.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS

	Ensayo a Flexión				Ensayo a compresión	
	Fuerza (KN)	Resistencia (Mpa)	Deformación por flecha WA/50 mm	Apertura de fisuración 5mm	Fuerza (KN)	Resistencia (Mpa)
MP-04 A	11,27	12,08	2,55	0,43	83	51,85
MP-03 A	16,99	14,95	2,21	0,11	124,8	78,03
MP-02 A	13,27	11,68	3,06	0,98	81,4	50,89
MP-05	14,28	24,89	1,11	0,18	192,7	120,43

Tabla 6: Características mecánicas de los polimeros

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Comparando los cuatro tipos de polímeros, cabe resaltar el buen comportamiento tanto a compresión como a flexión que presentan los materiales polimérico, destacando sobretodo las características mecánicas de la probeta MP-03 A de resina Sikafloor-169, la cual al someterla a una fuerza de 16,99 KN, resiste en flexión 14,95 Mpa; y las características de la probeta MP-05 de Metacrilato de Metilo, la cual al someterla a una fuerza de 192,7 KN, resiste en compresión 120,43 Mpa.

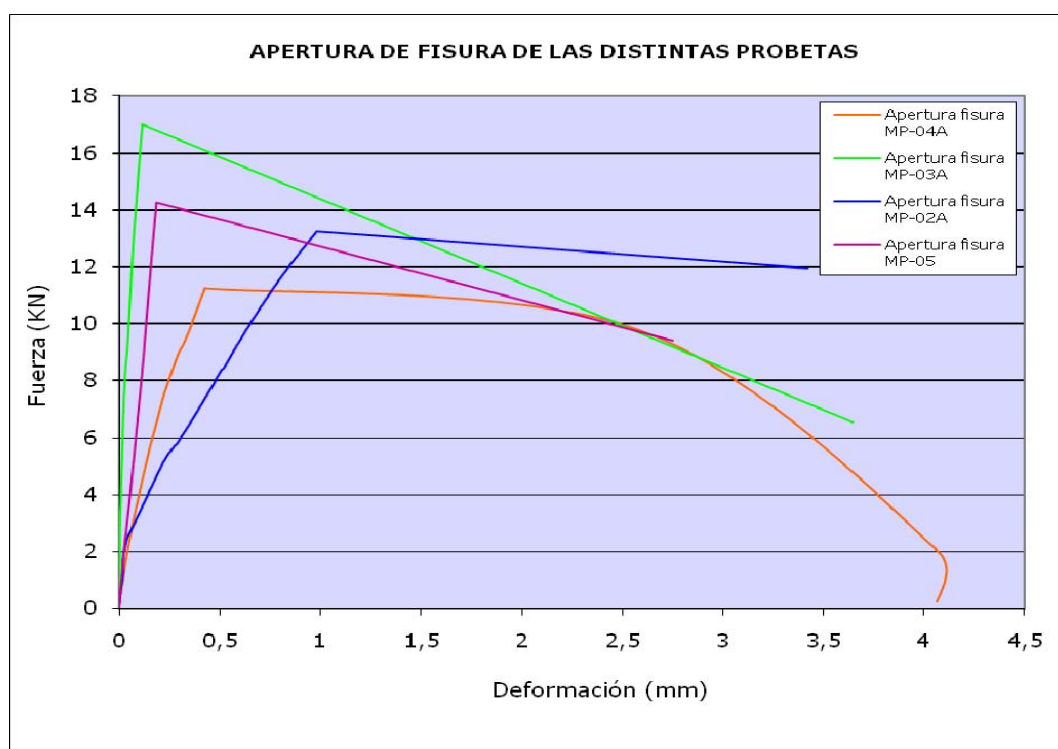


Gráfico 5: Gráfica Fuerza-Deformación resultante del ensayo de resistencia a flexión

A la vista de los resultados reflejados en el gráfico 5 se observa que la matriz polimérica que mayor fuerza resiste y que menor apertura de fisura presenta es la pieza MP-03 A, llegando a su rotura al aplicarle una fuerza de 16,99 KN, mostrando un comportamiento lineal y una pronunciada pendiente ascendente. A diferencia de ésta, la probeta MP-04 A, ejerciendo una fuerza de 11,27 KN ya alcanza su punto de rotura, presentando así una apertura de fisura de 0,43 mm, mayor que los 0,11 mm obtenidos en la pieza MP-03 A.

En cuanto a la probeta MP-05 y MP-02 A, cabe mencionar que prácticamente con igual fuerza aplicada, siendo ésta de 14,28 KN y 13,27 KN respectivamente, se

**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

obtiene mayor apertura de fisura en la MP-02 A, siendo la diferencia con la MP-05 de 0,8 mm.

Así pues se puede observar cómo al dejar de ejercer fuerza sobre el material polimérico, la probeta MP-04 A llega a alcanzar la mayor apertura de fisura, siendo ésta de 4 mm aproximadamente a diferencia de la probeta MP-05 que llega a los 2,75 mm, menor apertura de fisura presentada.

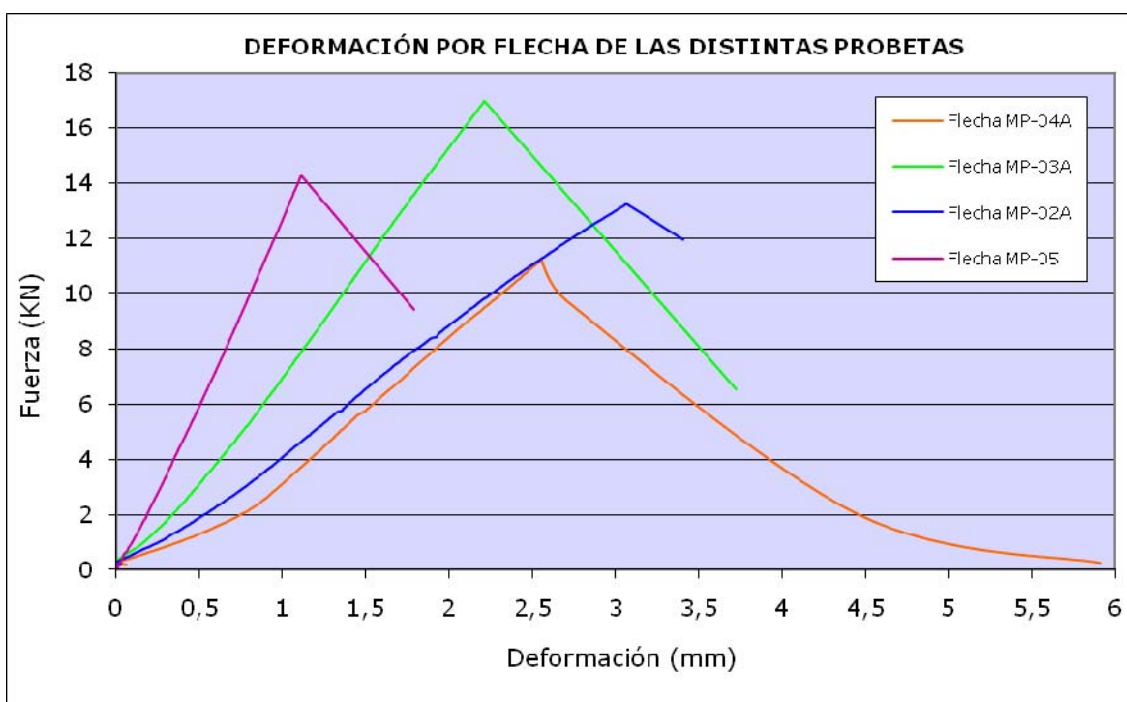


Gráfico 6: Gráfica Fuerza-Deformación resultante del ensayo de resistencia a flexión

Del presente gráfico se extrae que la matriz polimérica que mayor fuerza soporta es la MP-03 A, a la cual se le puede ejercer una fuerza de 16,99 kN, obteniendo en éste instante una deformación por flecha de 2,21 mm y mostrando un comportamiento lineal mediante una recta con una notable pendiente ascendente hasta llegar al punto de rotura. A diferencia de ésta, cabe mencionar la MP-05, la cual presenta una deformación menor que ésta pero solo soporta 14,28 kN.

Tanto la MP-04 A como la MP-02 A, presentan mayor deformación siendo ésta de 2,55 mm y 3,06 mm respectivamente y pudiendoles ejercer fuerzas menores, siendo éstas de 11,27 kN y 13,27 kN respectivamente.



**ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS DE CARÁCTER POLIMÉRICO PARA SU
APLICACIÓN AL HORMIGÓN TRANSLÚCIDO**

Por lo tanto, para concluir cabe mencionar que el material polimérico que mejor resiste el esfuerzo de flexión es la resina Sikafloor 169 (MP-03 A) y el que mejor comportamiento presenta ante el esfuerzo de compresión es el Metacrilato de Metilo (MP-05).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN



5.1. CONCLUSIONES

- En la patente se mencionan las arenas como un componente del hormigón translúcido, por lo tanto en vista de los resultados obtenidos en los ensayos realizados, hay que utilizar un producto para evitar que éstas se depositen y conseguir así una mezcla homogénea.
- Tanto al aumentar la cantidad de arena como al inyectar resina, la arena se precipita, por lo que para que el proceso de inyección fuera efectivo, el hormigón dejaría de ser transparente.
- Destacar la rotura frágil que presentan los materiales poliméricos, siendo esto un inconveniente al ser utilizados como materia prima del hormigón translúcido.
- No todos los productos comerciales bajo la denominación *Epoxi* son aptos para su aplicación al hormigón translúcido debido a la baja transmitancia lumínica que presentan, siendo totalmente opacos.
- En el ensayo a compresión del material polimérico, se produce una rotura frágil, manifestando previamente una microfisuración, siendo ésta suficiente para dejar el material inservible. No se fragmenta la probeta pero se pierde la carga resistente.
- La aplicación conjunta de los dos tipos de resina (metacrilato y epoxi) presenta un problema industrial, ya que el metacrilato tiene una temperatura de moldeo (temp. horno) para los procedimientos de colada y de inyección de 160-175°C y 150-160°C, respectivamente, mientras que las resinas epoxi es 40-70°C. Por lo tanto, si el metacrilato de metilo solo es utilizado mediante colada o inyección, hay que hallar un procedimiento para unir el metacrilato con la resina.
- Los materiales poliméricos presentan notables características mecánicas, destacando el buen comportamiento al esfuerzo de compresión del metacrilato de metilo.



5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Estudio del producto que evita la segregación de la arena en los hormigones poliméricos.
- Hormigón polimérico armado con fibras.
- Estudio de la unión de las resinas con el metacrilato de metilo.

CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFÍA



6.1. BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.wikipedia.com>
- <http://www.litracon.hu/>
- Structural Adhesives Developments in Resins and Primers Edited by A.J.Kinlonch.
- Polimers in Concrete Edited by Y.Ohama, M.Kawakami and K.Fukuzawa.
- Iniciación a la química de los plásticos. Leichtuerständliche Einführung in die Kunststoffchemie. 1ª edición española. Hanser editorial.

ANEXOS